

# L'écoconception des services numériques

Portée réelle, limites structurelles et conditions d'efficacité pour l'action publique

---

JUIN 2026

## Auteurs

---

**Nicolas SPATOLA**  
Chercheur  
Artimon Perspectives

**Josefina GIMENEZ**  
Directrice Recherche  
et Innovation  
Artimon Perspectives

**Fanny GUILLON**  
Consultante  
Artimon

**Arnaud MOKRANI**  
Associé dirigeant Practice  
Mobiliés & Environnement  
Artimon

# Executive summary

- ↘ L’empreinte environnementale du numérique provient principalement de la fabrication des équipements, ce qui déplace les priorités d’action vers l’amont du cycle de vie et vers des leviers comme la réparation, plutôt que les seuls usages.
- ↘ Malgré sa diffusion, l’écoconception des services numériques améliore l’efficacité locale (réduction des données, optimisation logicielle), mais son impact global reste limité. Le paradoxe de Jevons montre que les gains d’efficacité peuvent entraîner une augmentation des usages.
- ↘ Adopter une approche systémique combinant écoconception, sobriété numérique, régulation des usages et transformation des comportements permet de dépasser les optimisations techniques isolées et la croissance intensive des dispositifs en utilisation.

Cet article propose une analyse critique de l’écoconception des services numériques en la replaçant dans le schéma global de l’empreinte environnementale du secteur. Il montre que l’essentiel des impacts provient de la fabrication des équipements, et non de leur usage, ce qui limite fortement l’efficacité des stratégies centrées sur l’optimisation des services numériques.

L’écoconception permet des gains mesurables à l’échelle locale, mais son effet global reste contraint par plusieurs facteurs : difficulté de généralisation aux grandes plateformes, incertitudes de mesure, et surtout dynamique de croissance des usages. Cette dynamique est renforcée par les effets rebond, qui tendent à annuler les gains d’efficacité en stimulant la demande.

Nous mettons en évidence des limites structurelles : l’écoconception agit sur l’efficacité unitaire sans affecter les volumes, peut encourager le renouvellement des équipements, et ne prend pas en compte les transformations systémiques des usages et des modèles économiques.

Face à ces limites, une réorientation des politiques est proposée. Les leviers les plus efficaces concernent l’allongement de la durée de vie des équipements, la réduction des usages intensifs en données, et l’intégration de la sobriété dans les pratiques. Des alternatives techniques existent mais restent marginales.

La conclusion centrale est que l’écoconception constitue un outil utile mais secondaire. La réduction significative de l’empreinte environnementale du numérique dépend avant tout d’une approche systémique combinant régulation, transformation des usages et durabilité des équipements.

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>04</b>
<b>L'impact environnemental du numérique</b>	<b>05</b>
<b>Cadre réglementaire et initiatives publiques</b>	<b>06</b>
<b>L'écoconception des services numériques</b>	<b>08</b>
<b>Apports réels de l'écoconception à une échelle macro-environnementale</b>	<b>09</b>
<b>Place dans la stratégie globale de réduction de l'empreinte numérique</b>	<b>13</b>
<b>Alternatives techniques et portée systémique</b>	<b>14</b>
<b>Vers une approche intégrée : écoconception et usages</b>	<b>18</b>
<b>Conclusion</b>	<b>20</b>
<b>Références</b>	<b>21</b>

# Introduction

Le numérique occupe une place désormais structurante dans les économies contemporaines et dans l'organisation des sociétés. Cette diffusion rapide s'accompagne d'une augmentation continue de son empreinte environnementale, aujourd'hui bien documentée par la littérature scientifique et les travaux institutionnels. En France, celle-ci est estimée à environ 17,2 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>, soit près de 2,5% de l'empreinte carbone nationale, avec des projections indiquant une augmentation significative à horizon 2030 et au-delà. Cette trajectoire s'inscrit dans une dynamique globale caractérisée par la croissance conjointe des usages numériques, de la production d'équipements et des volumes de données échangées.

Dans ce contexte, l'écoconception des services numériques s'est progressivement imposée comme un levier d'action privilégié par les acteurs publics et privés. Fondée sur l'intégration des enjeux environnementaux dès la phase de conception, elle vise à améliorer l'efficacité des services numériques en réduisant les ressources mobilisées pour un service rendu équivalent. Cette approche repose principalement sur l'optimisation des architectures logicielles, la réduction des flux de données et l'amélioration des performances techniques.

Toutefois, la portée réelle de l'écoconception reste sujette à débat. Si elle permet des gains mesurables à l'échelle de services individuels, son impact à l'échelle macro-environnementale demeure incertain. En effet, l'empreinte du numérique est largement déterminée par des facteurs structurels, en particulier la fabrication des équipements et la croissance des usages, sur lesquels l'écoconception des services exerce une influence indirecte et limitée. Par ailleurs, les gains d'efficacité qu'elle génère peuvent être partiellement compensés par des effets rebond, conduisant à une augmentation globale des consommations.

Dans cette perspective, cet article défend l'idée que l'écoconception constitue un levier nécessaire mais insuffisant pour réduire significativement l'empreinte environnementale du numérique. Elle doit être comprise comme un outil d'optimisation locale, dont l'efficacité dépend étroitement des dynamiques systémiques dans lesquelles elle s'inscrit. L'enjeu n'est donc pas uniquement d'améliorer l'efficacité des services numériques, mais de reconfigurer les déterminants structurels de leur impact, en particulier les volumes d'équipements et les usages.

L'objectif de cet article est d'analyser de manière critique la portée de l'écoconception des services numériques, en identifiant ses apports, ses limites et ses conditions d'efficacité dans une perspective d'action publique. Il s'agit également de situer cette approche au sein d'un ensemble plus large de leviers, incluant la durabilité des équipements, la régulation des usages et l'évolution des infrastructures. En adoptant une perspective systémique, cet article vise à éclairer les arbitrages nécessaires pour orienter les politiques publiques vers des stratégies de réduction de l'empreinte numérique à la fois cohérentes et efficaces.

# L'impact environnemental du numérique

---

## Définition et composantes du secteur numérique

Pour mesurer les principales causes d'émission de GES liées au numérique, il convient d'abord de définir clairement ce que l'on entend par « secteur numérique », terme souvent générique et parfois imprécis. Dans le cadre de cette analyse, le secteur numérique englobe un ensemble vaste et diversifié d'équipements, d'infrastructures et de services. Trois grandes catégories peuvent être identifiées : les terminaux, les réseaux, et les centres informatiques. Chacune de ces catégories contribue différemment à l'empreinte environnementale globale du numérique. Ainsi, cette décomposition permet de mieux appréhender les sources d'émissions et les leviers d'action associés.

Les terminaux comprennent l'ensemble d'équipements qui constituent l'interface directe entre les utilisateurs et le monde numérique, comme les écrans, les consoles ou encore les casques VR... (Rapport d'information du Sénat sur l'empreinte environnementale du numérique, juin 2020). Les réseaux, quant à eux, englobent l'ensemble des infrastructures permettant la transmission des données : réseaux mobiles (3G, 4G, 5G), réseaux fixes (ADSL, fibre optique), satellites, et autres technologies de communication. Enfin, les centres informatiques, communément appelés data centers, sont des installations physiques qui hébergent les systèmes informatiques (serveurs, systèmes de stockage) nécessaires au fonctionnement des services numériques.

## Le cycle de vie des équipements numériques

Le cycle de vie d'un équipement numérique se décompose généralement en cinq étapes principales : l'extraction des matières premières, la fabrication, le transport, l'usage, et la fin de vie incluant le tri.

Les travaux récents de l'ADEME et de l'ARCEP confirment que, dans le contexte français, la phase de production matérielle des terminaux et serveurs constitue de loin la principale source d'impact environnemental, près de 80% de l'empreinte carbone du numérique étant liée à la fabrication, au transport et à la fin de vie des équipements. Par exemple, un smartphone moderne contient une cinquantaine de métaux rares dont les modes d'extraction et de production sont particulièrement polluants. Ces fortes émissions résultent de l'importante quantité d'énergie nécessaire à ces procédés (aggravées par un manque de normes anti-pollution restrictives dans la majorité des pays producteurs de métaux rares).

## Distinction entre phase « amont » et « aval »

Pour quantifier ces émissions, une distinction est souvent établie dans les analyses liées au secteur numérique, celle entre la phase « amont » et la phase « aval ». La phase amont regroupe l'extraction des matières premières, la fabrication et le transport des équipements, tandis que la phase « aval » correspond à l'utilisation des terminaux et des infrastructures. Cette distinction fait apparaître une différence notable entre la France et le reste du monde. À l'échelle mondiale, la phase « amont » représente environ 40% de l'empreinte écologique du numérique, contre 70% en France selon le rapport du Sénat. Cette différence ne signifie pas que les méthodes de production et d'extraction sont plus polluantes en France, mais s'explique principalement par le fait que l'énergie liée à l'utilisation du numérique y est peu carbonée.

Cette phase « aval » ne se résume pas seulement à l'énergie déployée pour recharger ou faire fonctionner les terminaux. Elle prend également en compte l'électricité utilisée par les data centers et les infrastructures de réseau pour permettre les échanges d'information. Les décisions à prendre pour la réduction de la pollution du numérique vont ainsi dépendre du mode de production de l'électricité à l'échelle nationale.

## Répartition des émissions de GES par composante

Selon les données de l'ADEME et de l'ARCEP, aujourd'hui, 79% de l'empreinte carbone du numérique en France provient des équipements, environ 16% des centres de données et 5% des réseaux. Et bien que le temps passé devant les écrans ait augmenté significativement ces deux dernières décennies, ce n'est pas l'utilisation des équipements (et donc leur consommation d'électricité) qui est principalement responsable de leur empreinte carbone, mais leur fabrication, à hauteur de 80%.

Ce constat a des implications majeures pour les politiques publiques. Il souligne notamment que les stratégies exclusivement centrées sur l'optimisation énergétique des usages ou des infrastructures ne peuvent à elles seules infléchir significativement la trajectoire globale des impacts. La dynamique de renouvellement rapide des équipements et l'augmentation continue de leur nombre constituent des déterminants structurels de l'empreinte environnementale du numérique.

# Cadre réglementaire et initiatives publiques

---

Face à ces constats, les pouvoirs publics ont progressivement mis en place un cadre réglementaire visant à encadrer et à réduire l'impact environnemental du numérique. Ce cadre, encore en construction, comprend des mesures législatives et réglementaires tant au niveau national qu'europpéen dont nous dressons ici une revue synthétique.

## Législation française

En ce qui concerne les terminaux, plusieurs lois, sans être entièrement centrées sur ces derniers, sont déjà en application en France. Parmi elles, la loi AGECE (Anti-Gaspillage pour une économie circulaire) de février 2020 prévoit (art. 58) de nouvelles règles pour les collectivités locales : 20% de leurs appareils numériques doivent désormais être issus du réemploi, ou doivent comporter des matières recyclées. Depuis le 15 décembre 2022, un fonds de réparation et de réemploi a été mis en place par cette loi. Presque deux ans avant que cette modalité ne rentre en application, la loi REEN (Réduire l'Empreinte Environnementale du Numérique) était votée (2 octobre 2021). Elle renforce certaines mesures de la loi AGECE, encourage le réemploi et la réutilisation, et cherche à limiter le renouvellement des appareils numériques. Cette loi prévoit également un volet important de sensibilisation.

On peut également citer la loi de 2015 rendant l'obsolescence programmée illégale, visant à limiter le renouvellement trop fréquent d'appareils électriques. Cette dernière semble néanmoins nécessiter une réécriture selon des membres du Sénat car, depuis sa création, aucune sanction n'a été prononcée sous ce chef d'accusation. Dans cette perspective, [la loi REEN](#) a proposé une mise à jour de la définition du délit afin de faciliter la mise en œuvre des sanctions en cas de poursuites judiciaires.

## Réglementations européennes

Au niveau européen, plusieurs règlements encadrent également l'impact environnemental des équipements numériques :

- Le règlement (UE) 2017/1369, instaure des exigences applicables à l'étiquetage de l'ensemble des dispositifs d'affichage électronique et la fourniture d'informations.
- Le règlement (UE) 2019/2021 établit des exigences en matière d'écoconception applicables à la mise sur le marché des dispositifs d'affichage électroniques, ainsi que le règlement n°617/2013 établit des exigences d'écoconception pour la mise sur le marché d'ordinateurs et de serveurs informatiques (de petites tailles).
- Le règlement (UE) 2023/826 définissant des exigences d'écoconception relatives à la consommation d'énergie sur les modes arrêt et veille des équipements ménagers et de bureau prévoit une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 1,36 million de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an d'ici 2030.
- Le règlement UE 2019/424 mis en place par la Commission concerne l'écoconception des serveurs et produits de stockage de données pour les centres informatiques.

## Mesures incitatives et fiscales

Les actions du secteur public relatives aux centres informatiques traitent principalement de leur consommation énergétique. Par exemple, la loi de finances de 2019 a « *instauré un tarif réduit de taxe intérieure de consommation finale d'électricité (TICFE) de 12 euros par MWh, contre 22,5 euros pour le tarif de base, pour les consommations des centres informatiques français supérieures à 1 GWh par an lorsque ces consommations sont égales ou supérieures à 1 KWh par euro de valeur ajoutée* » (rapport Sénat). Cet avantage fiscal pourrait être conditionné à des critères de performances énergétiques pour rendre la France plus attractive pour des data centers plus verts. En effet, cela inciterait les entreprises souhaitant installer leurs data centers en France à adopter des innovations pour limiter leur consommation énergétique, sous peine de payer presque le double du prix de l'électricité.

Les centres informatiques rentrent aussi dans le cadre d'application du « décret de rénovation tertiaire ». Ce décret « *présente une obligation d'amélioration de la performance énergétique du parc tertiaire instaurée par la loi Grenelle II, puis repris par la Loi de Transition énergétique et enfin dans la Loi ELAN. Il impose une réduction de la consommation énergétique du parc tertiaire français, à savoir un objectif de réduction des consommations énergétiques (énergie finale) des bâtiments : -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à la consommation de 2010* » (rapport Sénat). Pour la réglementation autour des réseaux, aucune mesure cherchant à limiter leur consommation énergétique n'a encore été prise. Cela peut se comprendre car ces derniers ne représentent que 5% des émissions de GES du secteur du numérique en France selon l'ADEME.

C'est dans ce contexte légal que se développent les initiatives liées à l'écoconception des services numériques, un domaine encore relativement peu encadré mais qui suscite un intérêt croissant tant de la part des acteurs publics que privés.

# L'écoconception des services numériques

---

## Définition et champ de l'écoconception des services numériques

Qu'entend-on exactement par écoconception, et comment s'applique-t-elle au secteur numérique ?

La définition du Ministère de la Transition Ecologique sans être la plus concise, est la suivante : « L'écoconception consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception des biens ou services. Elle a pour objectif de réduire les impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie : extraction des matières premières, production, distribution, utilisation et fin de vie. Elle se caractérise par une vision globale de ces impacts environnementaux : c'est une approche multi-étapes (prenant en compte les diverses étapes du cycle de vie) et multi-critères (prenant en compte les consommations de matière et d'énergie, les rejets dans les milieux naturels, les effets sur le climat et la biodiversité). ».

L'écoconception peut ainsi être définie comme l'intégration systématique des enjeux environnementaux dès la phase de conception d'un produit ou d'un service, dans une logique d'analyse en cycle de vie et à service rendu équivalent.

Si l'écoconception pour ce qui est des biens « physiques » peut être intuitive, son application au secteur numérique possède quelques subtilités. Les terminaux et les infrastructures dont est composé le numérique possèdent une dimension physique, pour lesquelles la logique d'écoconception est identique à celle des autres biens. Néanmoins, la partie « service » du secteur numérique est majoritairement dématérialisée (envoi d'emails, visionnage de vidéos...) et il peut sembler contre-intuitif de se représenter les applications de l'écoconception.

Cependant son application se décline principalement sur la partie « service » : ainsi, l'écoconception concerne principalement les dimensions logicielles et fonctionnelles, tel que des architecture des systèmes d'information, la sobriété des interfaces, l'optimisation des flux de données, ou des choix technologiques et pratiques de développement.

Dans ce sens, les démarches d'écoconception visent notamment à réduire les volumes de données échangées, à limiter les traitements inutiles, à améliorer la performance des applications et à favoriser des architectures plus sobres. Plusieurs retours d'expérience, comme l'étude de l'Ademe sur PriceComparator, montrent que ces pratiques peuvent conduire à des réductions des consommations énergétiques associées à un service donné, en particulier pour des services transactionnels ou informationnels.

# Apports réels de l'écoconception à une échelle macro-environnementale

---

Si ces initiatives sont positives et méritent d'être encouragées, apportant des bénéfices à l'échelle d'un site ou d'un service, il se pose toutefois la question de la généralisation de telles pratiques et leur portée à l'échelle du système numérique dans son ensemble. Par exemple, les données de l'ARCEP indiquent que la proportion des sites pouvant bénéficier de telles évolutions est assez limitée parmi les principaux « consommateurs » d'internet, la difficulté étant d'arriver à modifier « l'architecture » d'un site sans pour autant changer les services que celui-ci délivre.

Si des services comme PriceComparator ont démontré qu'il est possible de réduire la consommation d'énergie tout en maintenant un service fonctionnel équivalent, la transposition de l'approche à des plateformes généralistes comme Google ou Netflix apparaît très limitée. La nature même de ces services, fondée sur la diversité d'usages et l'accès en temps réel à des grands volumes d'information, conditionne fortement leur impact environnemental.

De la même manière, d'autres exemples comme [lowtechmagazine.com](http://lowtechmagazine.com) illustrent les possibilités offertes par une écoconception radicale, mais aussi ses limites en termes de passage à l'échelle. Hébergé sur une infrastructure volontairement frugal, alimentée par énergie solaire, ce type de service ne peut à ce jour soutenir des niveaux de trafic ou de stockage comparables à ceux des grandes plateformes numériques. Ces exemples montrent que l'efficacité de l'écoconception dépend étroitement de la nature du service rendu et des usages auxquels il répond, ce qui en limite la généralisation aux services de grande ampleur.

## Évaluation de l'impact de l'écoconception

Certains principes et « bons réflexes » semblent pouvoir porter leurs fruits. Parmi les grandes idées évoquées par le Sénat, entre autres, on retrouve la diminution du nombre de données chargées à chaque requête, la diminution de la qualité des vidéos et la diminution de certaines modalités comme le « scrolling infini » qui chargent un nombre considérable de données. Cependant, à ce jour peu d'évaluations quantitatives précises permettent d'évaluer la réduction de l'impact environnemental d'un site internet qui aurait été écoconçu depuis le départ et non une « adaptation » comme les exemples cités.

En effet, la quantification de l'impact environnemental des services numériques, et en particulier des sites internet, demeure marquée par des incertitudes méthodologiques. Les travaux existants reposent sur des modèles d'estimation indirects visant à donner des ordres de grandeur. Par exemple, le « 1-byte model » du Shift Project permet d'estimer les impacts associés aux flux des données échangés, mais cela ne suffit pas pour mesurer l'impact réel et complet d'un service numérique. Par ailleurs, il faut rappeler que l'écoconception agit principalement sur l'efficacité unitaire des services. Or, comme indiqué, les trajectoires d'impact dépendent avant tout de la fabrication de terminaux et serveurs, et donc des volumes d'usages et du nombre d'équipements en circulation. Dans un contexte de croissance continue des usages numériques, les gains d'efficacité peuvent être partiellement, voire totalement, compensés par l'augmentation des volumes.

Ces quelques remarques interrogent sur la capacité de l'écoconception comme mesure pour avoir une influence significative sur l'impact environnemental du secteur numérique et notamment des services numériques (sites et plateformes en ligne). Cette difficulté est amplifiée par le phénomène de l'effet rebond, ou paradoxe de Jevons.

## Le paradoxe de Jevons : quand l'efficacité augmente la consommation

Malgré ses nombreux avantages, l'écoconception se heurte à des limites fondamentales, dont la principale est liée à ce phénomène économique bien documenté. Identifié par l'économiste britannique William Stanley Jevons en 1865, ce paradoxe s'énonce ainsi : « *plus les améliorations technologiques augmentent l'efficacité avec laquelle une ressource est employée, plus la consommation totale de cette ressource aura tendance à augmenter, au lieu de diminuer* » (Bordage, 2014).

Comme l'explique le groupe EcoInfo du CNRS (2015), « *le progrès apporté par la technologie est souvent annihilé par le changement de comportement qu'il induit* ». En d'autres termes, les gains d'efficacité obtenus grâce à l'innovation technologique sont compensés, voire surpassés, par l'augmentation de la demande qu'ils génèrent.

Dans le contexte du numérique, ce paradoxe se manifeste de multiples façons. Par exemple, l'amélioration de l'efficacité énergétique des data centers a permis de réduire la consommation d'énergie par unité de calcul, mais cela a également encouragé une explosion de la demande de services cloud, annulant en grande partie les bénéfices environnementaux initiaux.

La littérature distingue plusieurs types d'effets rebond qui affectent particulièrement le secteur numérique :

1. **Effets rebond directs** : Ils apparaissent lorsque la baisse du coût d'une ressource induit des réductions de prix, qui eux déclenchent une augmentation de la demande pour le bien coûtant moins cher. Par exemple, la miniaturisation des composants électroniques a permis de réduire les coûts de fabrication, mais a également conduit à une explosion de la consommation d'appareils numériques.
2. **Effets rebond indirects** : Ils surviennent lorsque les économies réalisées grâce à une ressource produite de manière plus efficace sont investies dans la consommation d'autres produits polluants. Par exemple, les économies réalisées grâce à des services numériques plus efficaces peuvent être réinvesties dans des activités à forte empreinte carbone, comme les voyages en avion.
3. **Effets rebond structurels** : Ils impactent l'ensemble de l'économie et induisent des changements profonds dans les modes de production et les habitudes de consommation. Le développement du télétravail illustre bien ce phénomène : bien qu'il réduise les déplacements quotidiens, il peut encourager les travailleurs à s'installer plus loin de leur lieu de travail, augmentant ainsi la distance des trajets occasionnels et, potentiellement, leur impact environnemental global.
4. **Effets rebond psychologiques** : Identifiés par certains chercheurs, ces effets se produisent lorsque les utilisateurs considèrent que l'efficacité accrue d'une technologie leur donne une « licence morale » pour consommer davantage. Par exemple, l'utilisation d'un service numérique écoconçu peut donner l'impression de faire un geste pour l'environnement, justifiant ainsi d'autres comportements plus polluants.

## Exemples d'effets rebond dans le numérique

La littérature scientifique et technique fournit de nombreux exemples d'effets rebond dans le secteur numérique, démontrant les limites de l'écoconception lorsqu'elle n'est pas accompagnée d'une réflexion sur la sobriété des usages.

- **Les écrans plats** : Comme le souligne Frédéric Bordage (2014), le passage des écrans à tube cathodique (CRT) aux écrans à cristaux liquides (LCD) devait générer d'importantes économies d'énergie, car à diagonale identique, un écran LCD consomme 2 à 3 fois moins d'énergie qu'un écran CRT. Cependant, cette amélioration de l'efficacité énergétique a conduit à une augmentation de la taille moyenne des écrans, passant de 15 pouces (CRT) à 22 pouces (LCD), et à une recherche de luminosité plus élevée. Résultat : un écran plat consomme en moyenne autant d'énergie qu'avant, voire davantage si l'on considère l'ensemble de son cycle de vie. De plus, à diagonale égale, la fabrication d'un écran plat émet deux fois plus de gaz à effet de serre que celle d'un écran à tube cathodique, et son recyclage est beaucoup plus problématique.
- **La virtualisation des serveurs** : La virtualisation des serveurs est souvent présentée comme une solution écoresponsable, permettant de consolider plusieurs serveurs physiques sur un seul et ainsi de réduire le nombre d'équipements dans les centres de données. Pourtant, comme l'explique Bordage (2014), "la facilité avec laquelle on déploie techniquement un serveur virtuel (quelques clics comparés à l'installation d'une machine physique) se traduit par une inflation galopante du nombre de serveurs virtuels". De nombreuses entreprises ont aujourd'hui 2 à 3 fois plus de serveurs virtuels qu'elles n'avaient de serveurs physiques auparavant, et souvent autant, voire plus, de serveurs physiques qu'avant la virtualisation.
- **La compression vidéo** : L'amélioration des algorithmes de compression vidéo, comme le passage du codec H.264 au H.265 (HEVC), permet de réduire considérablement la taille des fichiers vidéo (de 35% à 67%). Théoriquement, cela devrait diminuer la part de la bande passante internet consommée par les vidéos en ligne. Cependant, cette optimisation a principalement servi à augmenter la qualité des vidéos diffusées (passage à la HD, puis à la 4K), et le contenu multimédia représente aujourd'hui près de 80% de la bande passante internet, une proportion qui continue d'augmenter (Bordage, 2014).

## Les limites structurelles de l'écoconception

Ces éléments illustrent les limites de l'écoconception lorsqu'elle se concentre uniquement sur l'amélioration de l'efficacité technique sans remettre en question les usages et les modèles économiques sous-jacents.

Comme le souligne EcoInfo (2015), « *malgré leur capacité à produire de l'information sur notre environnement et de permettre d'écoconcevoir de nouveaux produits et services, les éco-TIC (Eco-Techniques de l'Information et de la Communication) sont loin d'être des baguettes magiques à verdir la planète* ». L'écoconception présente plusieurs limites structurelles :

1. **Elle ne remet pas en question l'augmentation des usages** : L'écoconception vise à réduire l'impact environnemental par unité de produit ou de service, mais ne remet pas en question la croissance continue de la production et de la consommation. Or, comme le montre le paradoxe de Jevons, les gains d'efficacité sont souvent compensés par l'augmentation du volume global.
2. **Elle peut encourager l'obsolescence** : Paradoxalement, l'écoconception peut accélérer le renouvellement des équipements, les utilisateurs étant incités à remplacer leurs appareils existants par des modèles plus "écologiques", alors même que la phase de fabrication représente la majeure partie de l'impact environnemental des équipements numériques.
3. **Elle ne prend pas suffisamment en compte les effets systémiques** : L'écoconception se concentre souvent sur l'optimisation de produits ou services spécifiques, sans considérer pleinement les effets systémiques plus larges, comme les changements de comportement des utilisateurs ou les transformations des modèles économiques.

# Place dans la stratégie globale de réduction de l'empreinte numérique

---

Ainsi, les travaux récents au niveau européen et international confirment que les gains d'efficacité technique ne suffisent pas à infléchir les trajectoires d'impact numérique. Celles-ci restent tirées vers la hausse par la croissance des usages et par l'augmentation du nombre d'équipements connectés.

Comme le souligne le rapport du Sénat, malgré des progrès et des avancées dans le domaine du numérique, notre demande et notre rapport à l'information et au divertissement jouent un rôle central dans la réduction de cette pollution, même dans des scénarios considérés comme optimistes : « *[Les projections centrales de l'Ademe-Arcep] à horizon 2030 sont plutôt optimistes, avec une diminution de 11% en 12 ans : ils estiment que les hausses très fortes d'utilisation des centres informatiques et des réseaux seront plus que compensées par des gains d'efficacité énergétique d'environ 5% par an par composante. Ils indiquent toutefois que la poursuite de la progression des usages vidéo est susceptible de surcompenser ces gains, aboutissant ainsi, non plus à une diminution, mais au contraire à une augmentation de 21% de la consommation* ».

Ainsi, les effets des conseils en relation aux vidéos sur internet (proposés par exemple par *Designers éthiques*), comme la réduction du temps de vidéo ou de la qualité de ces dernières, sont à relativiser. Si ces mesures peuvent être applicables à des sites commerçants, il serait compliqué d'appliquer ce même principe à Youtube, Netflix, Twitch ou d'autres plateformes centrées autour du service vidéo.

Force est de constater que l'usage d'internet à des fins de streaming ou de vidéos est le principal poste de pollution du numérique dans la rubrique « aval ». Et, comme le prévoit également le Sénat, il y a fort à parier que la demande de divertissement vidéo augmente dans les prochaines années et qu'au fur et à mesure, les autres postes deviennent progressivement presque négligeables comparés à ce dernier. Le recours à l'IA pour la génération de vidéos et la démultiplication exponentielle de ces productions nous obligent à nuancer toute projection optimiste quant à l'évolution des usages.

Ainsi, en l'état actuel des recherches et des développements, l'écoconception de certaines pages web ne parviendra pas à réduire l'impact environnemental du numérique. Cette réduction par une conception plus responsable aurait lieu dans l'un des postes de pollution les plus faibles du numérique.

# Alternatives techniques et portée systémique

---

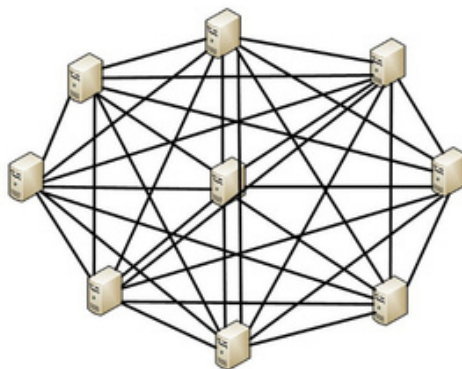
Face à ce constat, il convient de prioriser le travail et les actions en fonction des éléments structurants de notre rapport au numérique. Les politiques les plus structurantes identifiées dans la littérature récente concernent l'allongement de la durée de vie des équipements, la réparabilité, la limitation de l'obsolescence logicielle, ainsi que la régulation des usages les plus intensifs en données. La commande publique en particulier constitue un levier important pour diffuser des exigences d'écoconception tout en orientant les choix vers des solutions ayant des impacts mesurables et réels.

Certaines alternatives techniques, telles que les réseaux en maillage, les architectures tolérantes au délai ou le stockage décentralisé, sont parfois présentées comme des solutions permettant de réduire structurellement l'impact environnementale du numérique. Toutefois leur portée reste limitée à des contextes spécifiques (des territoires peu connectés, des usages précis). Elles ne constituent pas à ce jour des alternatives généralisables. Leur intérêt réside davantage dans leur capacité à interroger les modèles existants et à ouvrir des pistes de réflexion que dans leur potentiel de déploiement à grande échelle.

## Réseaux en maillage (Mesh networks)

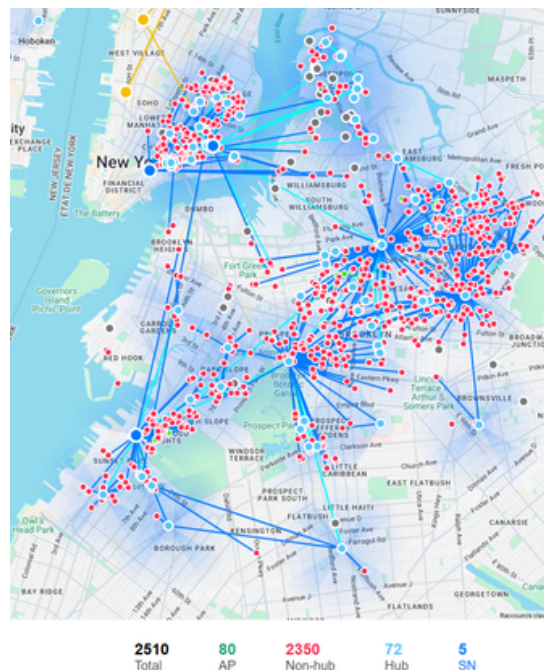
Une alternative aux réseaux traditionnels est le réseau en maillage ou « *mesh network* ». Contrairement aux réseaux centralisés, où toutes les communications passent par un point central, les réseaux en maillage permettent à chaque nœud (appareil connecté) de communiquer directement avec les autres nœuds à proximité.

C'est également une organisation dynamique : si un des appareils constituant un nœud n'est plus connecté, les liens entre les différentes composantes du réseau se réactualisent afin de maintenir la plus vaste couverture possible. Les nœuds n'ont pas de hiérarchie, ce qui permet une plus grande flexibilité en ce qui concerne l'alimentation énergétique de chaque poste de transmission. Plus concrètement, nous pouvons assimiler une partie de la structure à un partage de connexion fait sur mobile. Se faisant, chaque appareil peut devenir d'une certaine façon sa propre antenne et son propre serveur.



*Réseau Mesh*

Une application concrète de ce type de structure a été développée dans le quartier de Red Hook à Brooklyn. La Red Hook Initiative a permis l'installation de plusieurs antennes et nœuds pour répondre au besoin de connectivité et communication, et avoir la portée la plus large possible. Une fois connectés à ce réseau, les résidents peuvent accéder à un certain nombre d'informations sur des services publics et des nouvelles relatives à la vie locale.



*Réseau Mesh à Brooklyn et New York*

Le réseau en maillage de Red Hook s'est distingué lors de l'ouragan Sandy en 2012, qui a fortement touché la ville de New York et entraîné la destruction de nombreuses infrastructures de télécommunication. Grâce à leur taille plus petite et à leur architecture décentralisée, les installations locales ont mieux résisté à la tempête et ont continué à fonctionner malgré des dégradations partielles. Une connexion satellitaire mise en place après l'événement a permis au quartier de devenir un point central de communication, facilitant l'organisation des secours et la distribution de ressource dans les jours qui ont suivi.

Cet exemple permet d'illustrer qu'au moins à l'échelle locale, une telle organisation est envisageable. D'autres initiatives plus larges ont pu montrer une certaine réussite et semblent être prometteuses pour une généralisation. C'est le cas de guifi.net. C'est un « community network » qui s'est développé en Catalogne autour de Barcelone afin de connecter des zones aussi bien urbaines que rurales mal desservies par les opérateurs et réseaux traditionnels. La structure en maillage y est fortement développée et couvre une large zone.

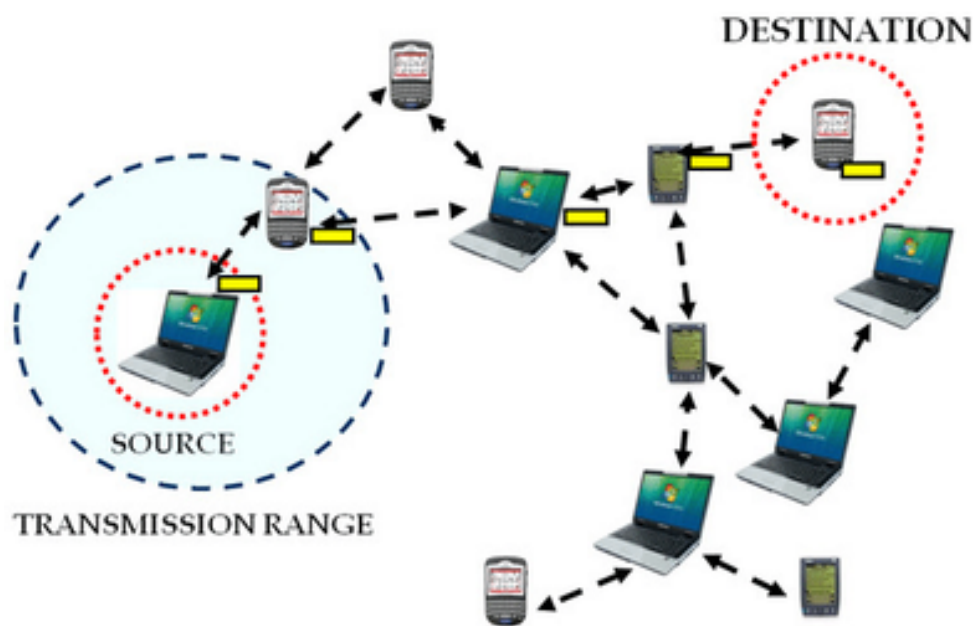
## Delay Tolerant Networks (DTN)

Si l'on considère un changement de modèle plus global pour réduire l'impact environnemental du numérique, le stockage de données est également un thème au cœur des évolutions possibles.

Une critique que l'on peut formuler à l'égard de la mesure de l'impact des data centers est le fait qu'il n'est question que de leur consommation électrique. Pourtant, les data centers requièrent souvent de grands espaces pour pouvoir y entreposer les serveurs, une connexion haut débit qui nécessite des travaux supplémentaires, et toutes les infrastructures nécessaires au fonctionnement d'un « bâtiment d'entreprise ». Il est donc nécessaire de construire des voies d'accès, des parkings, etc., ajoutant à l'impact du service, tout ce qui concerne la mobilisation du BTP. Les solutions de stockage alternatives méritent également une attention particulière.

Les structures de réseau traditionnelles n'ont pas d'espace de stockage dans leurs « antennes ». Si une panne sur le réseau survient, les paquets de données sont perdus et doivent être renvoyés à nouveau une fois la connexion sur le réseau rétablie. Ce fonctionnement peut entraîner une saturation du réseau à sa réouverture et, par conséquent, accroître la consommation des ressources, notamment énergétiques.

Dans le cas d'un réseau *mesh*, chaque appareil possède une certaine quantité de stockage disponible pour pouvoir garder les paquets de données si une route n'est plus disponible. Par un système de file d'attente, dès que la communication est rétablie avec un autre pôle du système, les premiers paquets arrivés partent et continuent leur chemin. Ainsi, quand bien même cela puisse prendre plus de temps, si une connexion peut s'établir même de façon périodique, il est certain que le paquet parviendra à bon port. C'est le principe des Delay Tolerant Networks (DTN).



*Delay Tolerant Networks (DTN).*

Un des atouts de ce type de réseau est qu'il peut fonctionner exclusivement à l'énergie renouvelable, contrairement aux réseaux centralisés qui nécessitent d'une alimentation continue et stable : si le hub central cesse de fonctionner, toutes les communications sont interrompues, même au sein d'une zone géographiquement réduite.

Dans le cas d'un réseau en maillage intégrant les principes DTN, la communication serait interrompue avec « l'extérieur » mais au sein d'une zone géographique donnée, elle serait maintenue. C'est une structure qui permet de maintenir un certain lien entre différentes zones assez proches même en cas de rupture d'alimentation.

Néanmoins, passer à ce type de communication présente une difficulté majeure, puisqu'elle demande une réadaptation conséquente de notre rapport à la communication et à l'information. En effet, nous n'aurions plus d'accès direct aux nouveautés et il faudrait attendre certains moments pour pouvoir échanger avec des parties plus ou moins éloignées du globe.

## Data mules et « Sneakernet »

Dans le cas de territoires isolés, il serait possible de mettre en place des « data mules » en parallèle de réseaux locaux. Les *data mules* sont des nœuds de connexion mobiles, pouvant faire partie d'un réseau en maillage lorsqu'ils se rapprochent de celui-ci.

Les *data mules* sont des dispositifs de transmission mobiles et légers, qui ne nécessitent pas d'infrastructures complexes. Ils peuvent être installés sur des moyens de transport courants, comme un scooter ou un bus reliant périodiquement des zones isolées. Les données sont stockées sur des supports physiques pendant le trajet, puis échangées avec un réseau local dès que le véhicule entre dans sa zone de couverture, avant d'être transportées vers d'autres destinations.

Les data mules présentent l'avantage d'être simples à mettre en œuvre, sans compétences techniques particulières et compatibles avec des moyens de transport existants. Ils pourraient permettre des mises à jour régulières des données, sans recourir à des infrastructures lourdes.

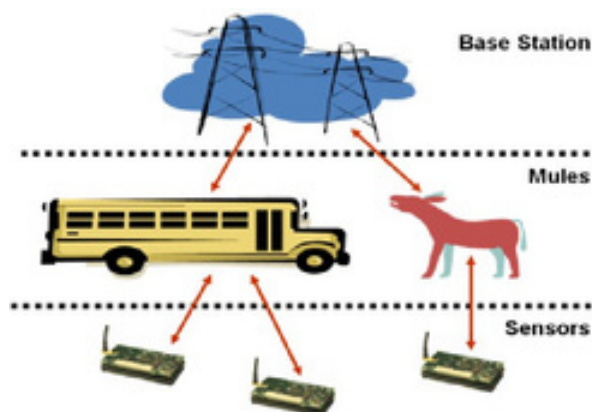


Fig.X Data mule architecture, Regis et al. (2013)

Cette approche s'inscrit dans la logique de *sneakernet*, fondée sur le stockage et le transfert physique de données sur des supports matériels, limitant ainsi les échanges continus avec des serveurs distants. Dans cette perspective, certains centres de données pourraient être envisagés comme des bibliothèques numériques, mobilisées ponctuellement, et potentiellement moins énergivores que les infrastructures fonctionnant en continu.

Ces cas et alternatives illustrent la diversité de configurations techniques possibles pour organiser les échanges numériques différemment aux architectures centralisées habituelles. Elles mettent en évidence des potentiels intéressants en matière de réduction de la consommation d'énergie et de mutualisation des ressources. Cependant dans l'état actuel des choses elles restent largement réduites à des contextes spécifiques. Leur analyse permet toutefois d'élargir la réflexion sur les modèles d'infrastructure numérique, sans pour autant constituer à ce stade des alternatives généralisables à l'échelle du système numérique dans son ensemble.

# Vers une approche intégrée : écoconception et usages

---

Pour dépasser les limites de l'écoconception et éviter les effets rebond, il est nécessaire d'adopter une approche intégrée combinant écoconception et interrogation des usages.

## Repenser notre rapport au numérique

Repenser notre rapport au numérique implique de questionner non seulement comment nous concevons les technologies, mais aussi comment nous les utilisons et dans quelle mesure elles répondent à des besoins réels. Cette réflexion implique de :

1. **Questionner la nécessité** : Avant de chercher à optimiser un service numérique, il convient de s'interroger sur sa nécessité réelle et sur les alternatives possibles, y compris non numériques.
2. **Privilégier la durabilité** : Favoriser l'allongement de la durée de vie des équipements, la réparabilité et la mise à jour logicielle plutôt que le renouvellement matériel.
3. **Limiter la consommation de données** : Réduire la consommation de contenus gourmands en bande passante, comme les vidéos en haute définition, et privilégier des formats plus légers.
4. **Adopter des pratiques de conception frugale** : Concevoir des services numériques minimalistes, répondant précisément aux besoins des utilisateurs sans fonctionnalités superflues.

## Intégrer les effets rebond dans l'évaluation des projets

Pour éviter les effets rebond, il s'avère nécessaire d'intégrer leur analyse dans l'évaluation des projets d'écoconception. Cette approche consiste à :

1. **Anticiper les changements de comportement** : Analyser comment les améliorations techniques pourraient modifier les comportements des utilisateurs et potentiellement annuler les bénéfices environnementaux.
2. **Évaluer les impacts indirects** : Considérer non seulement les impacts directs d'une solution, mais aussi ses effets indirects sur d'autres secteurs ou activités.
3. **Adopter une vision systémique** : Replacer chaque initiative d'écoconception dans son contexte plus large, en tenant compte des interactions complexes entre technologie, économie, société et environnement.

## Recommandations fondées empiriquement

Face à ces enjeux et au regard des travaux existants, les leviers d'action pour réduire l'empreinte environnementale du numérique relèvent moins de solutions technologiques plus performantes que de la structuration des usages, des équipements, de la recherche et développement et des cadres de gouvernance. Pour les acteurs publics, les marges d'action concernent d'abord le cadre réglementaire et économique. L'intégration de critères d'écoconception et de sobriété dans la commande publique, l'encadrement de l'obsolescence programmée tant sur le matériel que sur les logiciels, ainsi que les politiques favorisant l'allongement de la durée de vie des équipements sont des leviers documentés et déjà en partie mis en œuvre tant à l'échelle nationale qu'européenne.

Pour les acteurs privés, les démarches les plus efficaces concernent les pratiques de conception et d'exploitation qui réduisent le volume de données échangées, améliorent la durabilité des services numériques, et diminuent les besoins en renouvellement des terminaux. La prise en compte des effets rebond dans les stratégies d'innovation peut également constituer un axe important pour les acteurs de la recherche et du développement.

A l'échelle des usagers, les leviers s'orientent vers les comportements et l'équipement comme la prolongation de la durée de vie des dispositifs. A l'échelle locale, certaines initiatives peuvent permettre de modérer les usages et mutualiser les ressources, jouant un rôle à minima pédagogique sur l'évolution des pratiques. En France, certains projets de réseaux communautaires sont déjà à l'œuvre. C'est par exemple le cas de SCANI dans l'Yonne. Ces initiatives locales constituent des laboratoires d'expérimentation pour des modèles plus durables de communication numérique.

Dans l'ensemble, ces éléments montrent que les réductions d'impact les plus significatives reposent moins sur les évolutions techniques isolées, que sur des politiques cohérentes articulant durabilité des équipements et maîtrise ciblée des usages, notamment pour adresser des besoins volumineux.

# Conclusion

L'analyse proposée met en évidence un décalage structurel entre les leviers actuellement mobilisés pour réduire l'empreinte environnementale du numérique et les déterminants réels de cette empreinte. Si l'écoconception des services numériques constitue un outil pertinent pour améliorer l'efficacité technique à l'échelle locale, son impact global demeure contraint par des dynamiques systémiques qui en limitent la portée. En particulier, le poids prépondérant de la fabrication des équipements et la croissance continue des usages numériques réduisent significativement les effets des gains d'efficacité obtenus au niveau des services.

Le rôle des effets rebond apparaît ici central. Loin d'être un phénomène marginal, ils traduisent une propriété structurelle des systèmes techno-économiques dans lesquels s'inscrit le numérique et où les améliorations d'efficacité tendent à être réabsorbées par l'expansion des usages qu'elles rendent possibles. Dans ce contexte, une stratégie exclusivement fondée sur l'optimisation technique ne peut produire que des effets limités, voire contre-productifs à l'échelle agrégée.

Ces constats invitent à repositionner l'écoconception dans une stratégie plus large de réduction de l'empreinte environnementale du numérique. Elle conserve une utilité réelle, à la fois comme levier d'optimisation et comme support de sensibilisation à la matérialité du numérique. Toutefois, elle ne peut constituer le cœur des politiques publiques en la matière. Les leviers les plus structurants concernent la maîtrise des volumes : allongement de la durée de vie des équipements, limitation du renouvellement, encadrement des usages les plus intensifs en données, et intégration de critères de sobriété dans les modèles économiques et les dispositifs de régulation.

Dans cette perspective, l'action publique joue un rôle déterminant. Elle dispose de capacités d'intervention à la fois réglementaires, économiques et symboliques permettant d'orienter les comportements des acteurs et de structurer les marchés. L'intégration de critères exigeants dans la commande publique, le renforcement des dispositifs de lutte contre l'obsolescence, ou encore la régulation de certains usages numériques constituent des axes d'intervention cohérents avec les enseignements de la littérature récente.

Plus largement, la réduction de l'empreinte environnementale du numérique suppose un déplacement du cadre d'analyse, passant d'une logique d'efficacité à une logique de suffisance. Il ne s'agit plus uniquement de produire des services numériques plus efficaces, mais d'interroger les conditions dans lesquelles leur développement est socialement et écologiquement soutenable. Cette évolution implique de reconsidérer les arbitrages entre innovation, usage et impact, en intégrant de manière explicite les contraintes environnementales dans la définition même des trajectoires numériques.

Ainsi, l'écoconception apparaît moins comme une solution que comme un point d'entrée dans une transformation plus profonde du système numérique. C'est à la condition d'une articulation entre optimisation technique, sobriété des usages et régulation des structures, que les stratégies de réduction de l'empreinte environnementale pourront produire des effets significatifs et durables.

ADEME-ARCEP. (2023). Évaluation de l'empreinte environnementale du numérique en France en 2020, 2030 et 2050 - Dossier de presse.

ARCEP. (2019). Réseaux du futur, L'empreinte carbone du numérique.

ARCEP. (2022). Pour un numérique soutenable.

Bordage, F. (2014). L'effet rebond dans le numérique est-il évitable ? Green IT. <https://www.greenit.fr/2014/02/19/l-effet-rebond-dans-le-numerique-est-il-evitable/>

Bordage, F. (2019). Sobriété numérique : les clés pour agir, Libella.

Commission européenne. (2023). Ecodesign and Energy Labelling Working Plan 2022–2024.

Designers éthiques. (2022 ). Le guide d'écoconception de services numériques.

Direction générale de l'aviation civile. (2020). Rapport sur les émissions de l'aviation civile.

EcoInfo, CNRS. (2015). Les effets rebond du numérique. <https://ecoinfo.cnrs.fr/2015/12/23/les-effets-rebond-du-numerique/>

Ministère de la Transition Ecologiques. L'éco-conception des produits. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/leco-conception-produits>

Rapport d'information du Sénat sur l'empreinte environnementale du numérique. (2020 ).

RTE. (2020). Bilan électrique 2020.

The Shift Project. (2019). 1-byte model.

WeeeDoIT. (2021). Les effets rebond dans le numérique : les comprendre et les anticiper. <https://www.weeedoit.com/les-effets-rebond-dans-le-numerique-les-comprendre-et-les-anticiper>

Wiki du Numérique Responsable. (2023 ). Paradoxe de Jevons. [https://fr.wiki.isit-europe.org/nr/Paradoxe\\_de\\_Jevons](https://fr.wiki.isit-europe.org/nr/Paradoxe_de_Jevons)

Alternative Networks : Towards global access to the internet for all. (2017).



Artimon est un cabinet de conseil en management et organisation spécialiste des transformations, et un institut de recherche pluridisciplinaire.

L'institut Artimon Perspectives mène des travaux de recherche sur l'impact des nouvelles technologies dans les organisations et les activités humaines. Nos productions visent la création de connaissances sur des sujets complexes, la vulgarisation scientifique et la compréhension de différents phénomènes, tout en répondant aux besoins et questionnements opérationnels de notre écosystème d'acteurs.

## CONTACTEZ-NOUS

8, rue de la Victoire,  
75009 Paris  
+33 (0)1 53 20 89 89  
<https://artimon.fr/>

### **Josefina GIMENEZ**

Directrice Recherche et  
Innovation  
Artimon Perspectives  
[jgimenez@artimon.fr](mailto:jgimenez@artimon.fr)

### **Arnaud MOKRANI**

Associé dirigeant Practice  
Mobiliés & Environnement  
Artimon  
[amokrani@artimon.fr](mailto:amokrani@artimon.fr)

## SUIVEZ-NOUS SUR

